Original Article

Evaluating the efficiency of advanced oxidation methods on dye removal from textile wastewater

Rezaee-Mofrad MR[1], Miranzadeh MB[1], Pourgholi M[1*], Akbari H[2], Dehghani R[3]

1- Department of Environmental Health, Faculty of Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R, Iran.
2- Trauma Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R. Iran.
3- Trauma Nursing Research Center, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R. Iran.

Received July 21, 2012; Accepted December 5, 2012

Abstract:

Background: The discharge of textile industrial wastewater, a complex effluent containing different chemicals, to the environment causes serious bioenvironmental pollution problems. Therefore, this study aimed to evaluate the use of advanced oxidation methods and find the most efficient method to remove dye from textile effluents.

Materials and Methods: This experimental study was conducted on Kashan textile industrial effluent on a laboratory scale and in a closed system. Taking into consideration the fixed amount of O_3 dose and H_2O_2 concentration for the four advanced oxidation methods (UV/O_3, UV/H_2O_2, H_2O_2/O_3, $O_3/UV/H_2O_2$), in three reaction time (10, 20, 30 minutes) and different pH (4, 6, 8, 10), the effect of the methods on dye removal was evaluated and the results were compared using the complex repetitive measurements.

Results: Results showed that, in terms of method used and the contact time, the $O_3/UV/H_2O_2$ method in 30 minutes had the most efficient result (89.2%) and the UV/H_2O_2 method in 10 minutes time the least one (40.7%). Moreover, in terms of the method used and pH, the $O_3/UV/H_2O_2$ method in pH=6 had the most efficient result (84.7) and the UV/H_2O_2 method in pH=4 the least one (59.4). The results showed that time had a positive effect on dye removal efficiency ($P<0.001$).

Conclusion: The $O_3/UV/H_2O_2$ method is the most efficient method in removing dye from textile wastewater due to the synchronous presence of multi-pollutants and its synergic effect through producing the highly reactive hydroxyl radicals (OH^0).

Keywords: Textile industrial effluent, dye removal, Advanced oxidation

* **Corresponding Author.**
Email: mp2962@gmail.com
Tel: 0098 914 1600 486
Fax: 0098 361 555 0111

Conflict of Interests: ***No***

Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences March, 2013; Vol. 17, No 1, Pages 32-39

Please cite this article as: Rezaee-Mofrad MR, Miranzadeh MB, Pourgholi M, Akbari H, Dehghani R. Evaluating the efficiency of advanced oxidation methods on dye removal from textile wastewater. ***Feyz*** 2013; 17(1): 32-9.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]

بررسی تأثیر روش‌های اکسیداسیون پیشرفته بر حذف رنگ از فاضلاب صنایع نساجی

محمدرضا رضایی مفرد [۱]، محمدباقر میران زاده [۲]، مهرانگیز پورقلی [۳*]، حسین اکبری [۴]، روح ا... دهقانی [۵]

خلاصه:

سابقه و هدف: پساب صنعت نساجی یک فاضلاب پیچیده حاوی مواد شیمیایی مختلف و پساب‌های رنگی بوده و تخلیه آنها معضلات زیست‌محیطی شدیدی را به‌وجود می‌آورد. در این مطالعه استفاده از روش‌های اکسیداسیون پیشرفته و یافتن بهترین روش جهت حذف رنگ فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی روی پساب صنایع نساجی کاشان در مقیاس آزمایشگاهی در سیستم بسته انجام شد. با در نظر گرفتن مقدار ثابت دوز ازن و غلظت پراکسید هیدروژن در هر چهار روش اکسیداسیون پیشرفته شامل UV/O_3، UV/H_2O_2، H_2O_2/O_3، $O_3/UV/H_2O_2$ در سه زمان واکنش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و در چهار pH ۴، ۶، ۸ و ۱۰ تأثیر روش‌ها بر حذف رنگ بررسی شد و نتایج با روش اندازه‌گیری تکراری آمیخته مقایسه شد.

نتایج: یافته‌ها نشان داد درصد حذف رنگ برحسب نوع روش و زمان در روش $O_3/UV/H_2O_2$ و زمان تماس ۳۰ دقیقه بیشترین میزان و در UV/H_2O_2 در زمان ۱۰ دقیقه کمترین میزان را داشت و به‌ترتیب ۸۹/۲ و ۴۰/۷ درصد به‌دست آمد. درصد حذف رنگ برحسب نوع روش و pH در روش $UV/H_2O_2/O_3$ و pH=۶ بیشترین میزان و در UV/H_2O_2 در pH=۴ کمترین میزان را داشت و به‌ترتیب ۸۴/۷ و ۵۹/۴ درصد را حذف کردند. نتایج آزمون آماری نشان داد که اثر پارامتر زمان بر حذف رنگ موثر می‌باشد ($P<۰/۰۰۱$).

نتیجه‌گیری: روش $UV/H_2O_2/O_3$ در مقایسه با روش‌های دیگر مورد مطالعه موثرترین فرآیند رنگ‌بری را دارا می‌باشد که دلیل موثر بودن آن حضور هم‌زمان چند اکسایندە قوی و اثر تشدیدکنندگی آنها از طریق تولید بیشتر رادیکال‌های فعال هیدروکسیل (OH^0) می‌باشد.

واژگان کلیدی: فاضلاب صنایع نساجی، حذف رنگ، اکسیداسیون پیشرفته

دو ماه‌نامه علمی– پژوهشی فیض، دوره هفدهم، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۲، صفحات ۳۹-۳۲

مقدمه

امروزه صنایع چنان با سرعت در حال توسعه هستند که اغب تنها بعد اقتصادی آنها در نظر گرفته شده و توجهی به پیامدهای زیست محیطی آن نمی‌شود. از جمله صنایعی که باید به تصفیه پساب‌های آن توجه خاصی داشت، صنایع نساجی و رنگرزی هستند [۱]. صنایع نساجی یکی از مهمترین صنایع در چند دهه گذشته بوده [۲] که کیفیت و کمیت پساب آن به‌علت استفاده از ۱۰۰۰۰ نوع رنگ همواره باعث نگرانی دولت‌ها بوده است [۳]. صنایع نساجی یک فاضلاب حاوی مواد شیمیایی مختلف تولید می‌کند [٤] که سمی و مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی بوده و پایدار در محیط هستند [۵].

کیفیت این فاضلاب با گذشت زمان تغییر می‌کند و ممکن است شامل انواع بسیاری از رنگ‌ها، مواد شوینده، ترکیبات سولفید، و حلال‌ها باشد [٦]. بارزترین مشخصه پساب نساجی رنگی بودن آن است [۷]. در این صنعت دو مرحله اصلی رنگرزی و تکمیل حجم زیادی پساب با غلظت رنگ بالا تولید می‌کنند [۹،۸]. مصرف رنگ در صنایع نساجی دنیا بیش از ۱۰۰۰۰ تن در سال تخمین زده می‌شود که با این میزان مصرف، سالانه ۱۰۰۰ تن از رنگ مصرفی وارد پساب این صنایع می‌گردد [۱۰]. رنگ‌ها ترکیبات دست‌سازی هستند که جهان ما را زیبا می‌سازند و در بسیاری از حوزه‌ها حضور دارند و کاربردشان در حال رشد است [۱۱]. هم‌چنین، ترکیبات آلی هستند که یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی مورد مصرف در بسیاری از صنایع نظیر نساجی، دباغی، و کاغذ می‌باشتد [۱۲]. تخمین زده شده است که ۱۵-۱ درصد مواد رنگ‌زا در طی فرآیندهای رنگرزی و پرداخت هدر می‌رود و به‌صورت پساب وارد محیط می‌شوند، بنابراین لزوم حذف این آلاینده‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد [۱۳]. ورود این پساب‌ها به محیط باعث اختلال در محیط‌های آبی می‌گردد، زیرا از نفوذ نور به محیط‌های آبی جلوگیری کرده و باعث کند شدن فرآیند فتوسنتز شده و در نتیجه فعالیت سنتزی گیاهان آبزی وکل اکوسیستم تهدید می‌شود [۱٤]. قوانین دولتی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه برای تخلیه

[۱] مربی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

[۲] استاد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

[۴] مربی، مرکز تحقیقات تروما، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

[۵] استاد، مرکز تحقیقات پرستاری تروما، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

* **نشانی نویسنده مسئول:**

کاشان، کیلومتر ۵ بلوار قطب راوندی، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط

تلفن: ۰۹۱۴ ۱۶۰۰۴۸۶ **دورنویس:** ۰۳۶۱ ۵۵۵۰۱۱۱

پست الکترونیک: mp2962@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۳۱ **تاریخ پذیرش نهایی:** ۹۱/۹/۱۵

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]

پساب‌های رنگی بسیار شدید است [۱۵] به‌همین دلیل، استانداردهای بین المللی زیست محیطی (ISO ۱٤۰۰۰، ۱۹۹٦) در مورد تخلیه پساب‌های رنگی از نظر قانونی بسیار شدیدتر شده است [۱٦]. روش‌های تصفیه بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی مختلف برای تصفیه پساب‌های نساجی استفاده شده است که در این میان، روش‌های بیولوژیکی ارزان و ساده هستند [۱۷]. برای رنگ‌زدایی صنایع نساجی روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به انعقاد و لخته سازی، اکسیداسیون شیمیایی، تصفیه بیولوژیکی، تکنیک الکتروشیمیایی، تعویض یونی، جذب سطحی و فرآیندهای ترکیبی شامل ازن زنی و انعقاد یا انعقاد و تعویض یونی اشاره کرد، ولی از آنجا که روش‌های مذکور تنها آلودگی را از فاز آبی به شبکه جامد منتقل می‌کنند و فرآیندهای تخریبی نیستند، تکنیک‌های فراگیر به حساب نمی‌آیند [۱۱،٤]. یکی از موثرترین روش‌ها فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (AOP_S) Advanced oxidation process است [۱۸]. اکسیداسیون پیشرفته عبارت است از اکسیداسیونی که برای تصفیه موثر فاضلاب به اندازه کافی رادیکال هیدروکسیل تولید کند [۱۹]. در فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته که بر مبنای تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل (OH^0) متمرکز است، از O_3،H_2O_2 یا هوا به‌عنوان اکسیدکننده و از امواج فرابنفش به‌عنوان انرژی خارجی استفاده می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل با توانایی اکسیدکنندگی بالا با مولکول‌های رنگ واکنش داده، باعث تخریب رنگ و حذف آن از آب و پساب می‌شوند [۲۰]. این فرآیندها شامل استفاده از عوامل اکسیدکننده قوی (O_3 /UV/H_2O_2 ،H_2O_2/O_3 ،UV/H_2O_2 ،UV/O_3،UV ،O_3) برای تخریب آلاینده‌های آلی در حضور یا عدم حضور منبع تابش است [۵،۲]. مزیت اصلی روش AOP، جلوگیری از آلودگی محصولات ثانویه در محیط، از بین بردن خطر افزایش دوز عوامل اکسیدکننده و سرعت بالای فرآیند و بهره‌وری می‌باشد [۲۱]. مطالعه محمد و همکاران نشان داد که روش ازن زنی حدود ۵۸ درصد و در صورت استفاده از فرآیندهای ترکیبی UV، UV/H_2O_2 تا حدود ۹۸ درصد می‌تواند رنگ پساب فاضلاب خام صنایع نساجی را حذف کند [۵]. نتایج یک مطالعه دیگر نیز نشان دهنده حذف رنگ تا ۹۱ درصد و حذف COD تا ۸۲ درصد با استفاده از روش اکسیداسیون می‌باشد [۱۲]. Perkowski و Kos بر حذف کامل رنگ از فاضلاب کارخانه رنگ‌سازی با اکسیداسیون پیشرفته تاکید نموده‌اند [۲۱]. این مطالعه به‌منظور حذف رنگ‌ها از فاضلاب کارخانه نساجی با استفاده از روش اکسیداسیون پیشرفته پیشنهاد می‌شود تا در زمینه مدیریت پساب این صنایع روش‌های نوین را توصیه و معرفی نماید. هزینه کمتر، پایداری و راندمان بالای این روش نسبت به سایر روش‌ها نتایج این مطالعه می‌تواند مورد استفاده در صنایع درگیر با پساب حاوی مواد رنگی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه تجربی‌کاربردی که در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان انجام گردید، بر روی فاضلاب صنعت نساجی کاشان در مقیاس آزمایشگاهی و در سیستم بسته انجام شد. نمونه‌های گرفته شده از کارخانه نساجی در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شده و نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار گرفتند. رآکتور تصفیه از جنس پیرکس به‌صورت مکعبی با سطح مقطع ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که مکعب دیگری با سطح مقطع ۱۰×۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در داخل آن جای گرفته بود، ساخته شد. درون محفظه داخلی لامپ UV قرار داشت و در محفظه خارجی نمونه فاضلاب به حجم ۳ لیتر اضافه می‌شد. نازل‌هایی برای ورود گاز ازن در کف رآکتور تعبیه شده بود و برای انجام اختلاط کامل از یک هم‌زن در کف رآکتور استفاده می‌شد. برای تولید ازن از دستگاه ازن‌ساز ساخت شرکت ARDA فرانسه با ظرفیت اسمی ۱۰/۵ گرم ازن در ساعت استفاده شد. اشعه UV نیز توسط لامپ UV با قدرت ۱۲۵ وات ساخت شرکت NARVA آلمان مدل NEF در طول موج ۲٥٤ نانومتر تابیده شد. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر به شماره مدل pH 262 با مارک Fanavary Taghizat Sangesh استفاده شد. برای اندازه‌گیری رنگ (طبق دستور استاندارد C ۲۱۲۰ کتاب استاندارد متود) از دستگاه اسپکتروفوتومتر APEL با شماره مدل PD-UV ۳۰۳ استفاده شد [۲۲]. رنگ نمونه خام و تصفیه شده با دستگاه اسپکتروفتومتر در ۳۰ طول موج مختلف اندازه گرفته شد. با توجه به این‌که دستگاه مذکور شدت عبور نور را اندازه می‌گرفت، به‌همین دلیل درصد حذف رنگ در مراحل مختلف از روی درصد عبور نور محاسبه گردید. روش کار به این صورت بود که تصفیه فاضلاب در شرایط بهینه با در نظر گرفتن دوز ازن و غلظت پراکسید هیدروژن ثابت برای هر ٤ روش اکسیداسیون پیشرفته (شامل H_2O_2/O_3، UV/O_3، UV/H_2O_2 و $O_3/UV/H_2O_2$) که به ترتیب برابر ۱۰ گرم در ساعت و ۲۹٤ میلی‌مول بر لیتر بود، انجام گرفت. اشعه UV نیز نور ثابتی داشته و تا پایان آزمایشات تغییری نداشت. این آزمایشات با ۳ بار تکرار در چهار pH ٤ ، ٦، ۸ و ۱۰ و در سه زمان تماس ۱۰، ۲۰، ۳۰ دقیقه برای ٤ روش اکسیداسیون پیشرفته انجام شد که در مجموع برای هر چهار روش

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]

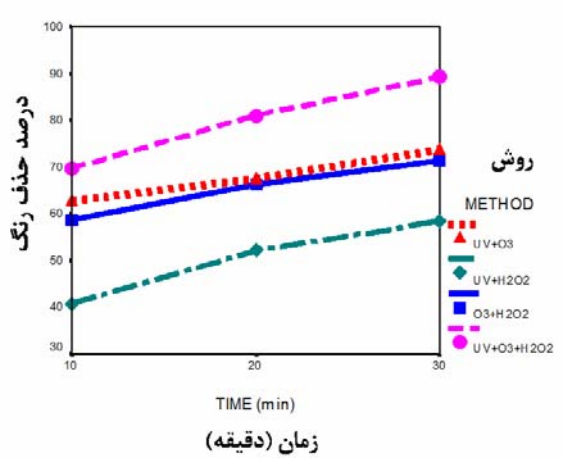
تعداد ۱٤٤ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. در ابتدا نمونه خام فیلتر شده سه لیتری به pH مورد نظر رسانده شد و بعد در رآکتور ریخته شد. سپس، اگر از پراکسید هیدروژن استفاده می‌شد، مقدار مورد نظر به نمونه اضافه می‌شد و ۱۰ دقیقه زمان داده می‌شد تا بهم زده شود. در صورت استفاده از ازن نیز دستگاه ازن‌ساز روشن شده و شیر اکسیژن باز می‌شد تا ازن تولید شود و اگر لامپ UV مورد نیاز بود، این لامپ از قسمت بالای رآکتور در یک فضای بسته به نمونه تابانیده شد و بعد از اتمام زمان تماس مورد نظر نمونه به‌مدت ۳۰ دقیقه در زیر هود باقی می‌ماند تا ازن تهویه شود. بعد از اتمام آزمایشات رنگ نمونه فاضلاب تصفیه شده با دستگاه اسپکتروفتومتر و در ۳۰ طول موج شدت عبور نور خوانده شد. سپس، نتایج به‌دست آمده با روش اندازه‌گیری تکراری آمیخته و نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج

نتایج به‌دست آمده از تصفیه فاضلاب نساجی با به‌کارگیری چهار روش اکسیداسیون پیشرفته در جداول شماره ۱ و ۲ خلاصه شده است. با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول شماره ۱، در هر ٤ روش با افزایش زمان تماس از ۱۰ به ۲۰ و سپس ۳۰ دقیقه میزان حذف افزایش یافته است که بیشترین میزان مربوط به روش $O_3/UV/H_2O_2$ و برابر ۸۹/۲ می‌باشد. روش UV/O_3 در مرتبه بعدی قرار دارد که در بیشترین زمان توانسته است ۷۳/۷ درصد رنگ فاضلاب را کاهش داده و روش H_2O_2/O_3 روش بعدی است که با تفاوت کمی از روش UV/O_3 توانسته است ۷۱/۲ درصد رنگ را حذف کند، ولی روش UV/H_2O_2 کمترین میزان حذف را داشته که برابر ۵۸/۳ می‌باشد. روند تغییرات حذف رنگ در این چهار روش در نمودار شماره ۱ مشاهده می‌شود.

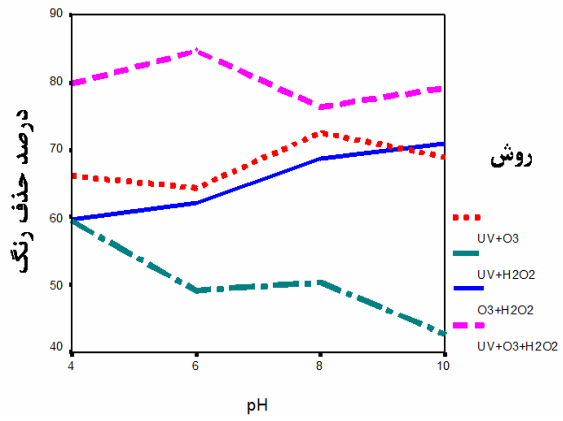
جدول شماره ۱- میانگین و انحراف معیار درصد حذف رنگ بر حسب نوع روش و زمان

روش	زمان (دقیقه)		
	۱۰	۲۰	۳۰
$UV+O_3$	٦۲/۷±۲/۹	٦۷/٥±۳/۳	۷۳/۷±٦/۹
$UV+H_2O_2$	٤۰/۷±۸/۳	٥۲/۱±۱۱/۱	٥۸/۳±۹/۱
$O_3+H_2O_2$	٥۸/٦±۸/۹	٦٦/۳±٦/٦	۷۱/۲±۷/٤
$UV+H_2O_2+O_3$	٦۹/۷±٦/۹	۸۱±٦/٤	۸۹/۲±٤/۳



نمودار شماره ۱- میانگین درصد حذف رنگ بر حسب زمان و نوع روش

در جدول شماره ۲ نیز میانگین و انحراف معیار درصد حذف رنگ بر حسب نوع روش و pH آورده شده است. در این جدول نیز بیشترین میزان حذف مربوط به‌روش $O_3/UV/H_2O_2$ می‌باشد که در pH=٦ توانسته ۸٤/۷ درصد رنگ را حذف کند و در روش UV/O_3 که بعد از روش ترکیبی قرار دارد، در pH=۸ بیشترین میزان حذف را داشته که برابر ۷۲/٥ درصد بوده است. روش H_2O_2/O_3 نیز در pH=۱۰ میزان حذف بالایی را داشته که این میزان ۷۱ درصد به‌دست آمد و روش UV/H_2O_2 در آخرین مرتبه قرار داشت که در pH=٤ توانسته ٥۹/٤ درصد رنگ فاضلاب را کاهش دهد. روند تغییرات حذف رنگ بر حسب pH در این چهار روش نیز در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود. در جدول شماره ۳ نیز منابع تغییرات رنگ با استفاده از مدل اندازه‌گیری تکراری برای زمان، نوع روش و pH نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد زمان واکنش و اثرات متقابل زمان واکنش با نوع روش و pH بر افزایش درصد حذف رنگ موثر بوده است ($P<۰/۰۰۱$).



نمودار شماره ۲- میانگین درصد حذف رنگ بر حسب نوع روش و pH

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]

جدول شماره ۲- میانگین و انحراف معیار درصد حذف رنگ بر حسب نوع روش و pH

روش	pH			
	٤	٦	٨	١٠
$UV+O_3$	٦٦/١±٥/١	٦٤/٣±٣/١	٧٢/٥±٧/٦	٦٨/٩±٦/٨
$UV+H_2O_2$	٥٩/٤±١٠/٦	٤٩/١±٧/٦	٥٠/٣±١٣/١	٤٢/٧±١١/٢
$O_3+H_2O_2$	٥٩/٦±٩/٦	٦٢/١±٨/٢	٦٨/٨±٧/٥	٧١±٧/٩
$UV+H_2O_2+O_3$	٧٩/٨±١٠/١	٨٤/٧±٩	٧٦/٣±١٠/٤	٧٩/٢±١٠/٣

جدول شماره ۳- منابع تغییرات مدل اندازه‌گیری تکراری برای زمان، نوع روش و pH در حذف رنگ

منابع تغییرات	مجموع مربعات خطا	درجه آزادی	میانگین مربعات خطا	مقدار F	سطح معنی‌داری
زمان	٥٥٢٠/٦	١	٥٥٢٠/٦	٢٣٨٧/٣	<٠/٠٠١
زمان×نوع روش	٢٩٣/٥	٣	٩٧/٨	٤٢/٣	<٠/٠٠١
زمان×pH	١٩٢/٣	٣	٦٤/١	٢٧/٧	<٠/٠٠١
زمان×نوع روش×pH	٢٤٧/٤	٩	٢٧/٤	١١/٨	<٠/٠٠١
خطا	٧٤	٣٢	٢/٣		

بحث

نتایج تحقیق برتری روش $O_3/UV/H_2O_2$ نسبت به ۳ روش را نشان داد. این برتری در حذف رنگ هم بر حسب نوع واکنش و pH و هم‌چنین نوع واکنش و زمان نشان داده می‌شود. در تصفیه فاضلاب نساجی مهم‌ترین عاملی که باید به‌طور موثر حذف گردد، رنگ و COD می‌باشد. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که روش $UV/H_2O_2/O_3$ در مقایسه با روش‌های مورد مطالعه در این تحقیق موثرترین فرآیند رنگ‌بری می‌باشد. pH بهینه برای این روش ٦ و بهترین زمان واکنش ۳۰ دقیقه می‌باشد. زمانی‌که به آب یا پساب حاوی H_2O_2 تابش UV تابانیده شود رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌شود. تابش UV سبب تفکیک H_2O_2 به رادیکال هیدروکسیل می‌شود. رادیکال‌های هیدروکسیل اکسیدکننده‌های قوی هستند که به آسانی ترکیبات آلی را اکسید می‌کنند [۲۳]. پس می‌توان گفت عامل تخریب در فرآیند رنگبری با سیستم UV/H_2O_2 رادیکال بسیار فعال هیدروکسیل (OH^0) با پتانسیل اکسیداسیون ۲/۸ eV است که از پتانسیل اکسیداسیون پراکسید هیدروژن (۱/۷۸ eV) بیشتر بوده و می‌تواند بسیاری از ترکیبات آلی را اکسید کند [٢٤]. به‌نظر می‌رسد در سیستم UV/H_2O_2 راندمان سیستم با افزایش در میزان رنگ فاضلاب کاهش می‌یابد [۲۵]. دلیل اینکه در روش UV/H_2O_2 درصد حذف رنگ در pH=٤ بهتر عمل می‌کند، این است که با افزایش pH به‌دلیل کاهش رادیکال‌های هیدروکسیل، راندمان کاهش می‌یابد، ولی آب اکسیژنه در شرایط اسیدی به ۲ رادیکال هیدروکسیل ($2OH^0$) تجزیه می‌شود که با ترکیبات آلی واکنش می‌دهد [۲٦]. در روش H_2O_2/O_3 در فاضلاب H_2O_2 به‌عنوان یک کاتالیزور عمل کرده و باعث تسریع تجزیه ازن به رادیکال هیدروکسیل می‌شود [٢٤]. دلیل اینکه H_2O_2/O_3 در pH ۱۰ نتیجه می‌دهد این است که در pH بالا حتی در غلظت‌های خیلی کم، H_2O_2 به یون‌های HO_2^- جدا شده که می‌تواند باعث تجزیه موثرتر ازن به یون OH^- شود و در نتیجه میزان تجزیه ازن با افزایش pH افزایش خواهد یافت، ولی در pH اسیدی H_2O_2 به آرامی با O_3 واکنش نشان می‌دهد [۲۷]. در روش UV/O_3 دلیل حذف بهتر رنگ در pH =۸ این است که، این pH در حضور یون‌های OH ازن به سرعت به رادیکال‌های OH تجزیه می‌شود و دارای پتانسیل اکسیداسیون (۲/۷۸) بیشتر از پتانسیل اکسیداسیون از (۲/۰۸) می‌باشد [۱۹]. فرآیند UV/O_3 باعث استفاده فوتون UV برای فعال کردن مولکول‌های ازن می‌شود که موجب تسهیل شکل‌گیری رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود [۲۸]. اضافه کردن H_2O_2 به فرآیند UV/O_3 باعث تسریع تجزیه ازن می‌شود که نتیجه آن افزایش تولید OH^0 است و از این نتایج مشخص است که ترکیبی

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]

از این ۳ فرآیند برای رسیدن به سطح مطلوب لازم است [۲۵]. زمان واکنش مورد نیاز برای حذف رنگ با استفاده از H_2O_2 های مختلف با توجه به نوع رنگ می‌باشد که نابودی کامل رنگ‌ها بین ۳۰ تا ۹۰ دقیقه رخ می‌دهد [۲٤]. Huang و همکاران با انجام ازناسیون و UV/H_2O_2 بر روی پساب حاوی ۲ رنگ Blue199 و Black22 و ۳ زمان ماند ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه نشان داده‌اند که تصفیه با ازناسیون موثرتر از UV/H_2O_2 می‌باشد. ایشان بیان می‌کنند که عملکرد پایین این روش در رآکتور ناشی از نفوذ کوتاه پرتو UV مسدود شده توسط رنگ AZO می‌باشد [۲۹]. Kalt و Galindo گزارش کردند که روش UV/H_2O_2 بیشترین تأثیر را در محیط اسیدی (pH=۳-٤) در بی‌رنگ کردن داشته است که با نتایج ما هم‌خوانی دارد [۲۷]. مطالعه Hajira Khan و همکاران روی پساب با رنگ C1-5B نشان داده است که روش UV/O_3 قادر به حذف رنگ تا ۵۱ درصد بوده، اما افزایش قابل توجهی در حذف رنگ با افزایش زمان به ٦۰ دقیقه با تابش نور UV به‌دست آمد، که برابر ۹٦ درصد بود [۲۵]. Arsalan و همکاران نشان داده‌اند که تصفیه فاضلاب کارخانه رنگ‌سازی با روش H_2O_2/O_3 به pH پساب وابسته است. آنها گزارش کرده‌اند که قدرت جذب ازن در pH=۱۱/۵ برابر با ۷٤ درصد است و در pH=۲/۵ فقط ۱۱ درصد جذب دارد. این پدیده به این واقعیت نسبت داده می‌شود که در pH بالاتر بیشتر H_2O_2 به یون‌های HO^-_2 تبدیل خواهد شد. در نتیجه میزان تجزیه ازن با افزایش pH افزایش خواهد یافت که با نتایج ما مطابقت دارد [۳۰]. در تحقیق Bui Xuan Thanh و همکاران بر روی حذف مواد آلی غیر قابل تجزیه از بیوراکتور نفوذ غشایی با روش H_2O_2/O_3 نتایج حاکی از آن است که روند اکسیداسیون با پراکسون (H_2O_2/O_3) ۵۳ درصد رنگ را در pH ۸/۵ به‌مدت ۲۵ دقیقه حذف نموده است، درحالی‌که با اکسیداسیون UV/O_3 رنگ را در ۲۵ دقیقه به‌میزان ٥٤ درصد حذف کرده است [۳۱]. مطالعه Hajir Khan و همکاران روی پساب با رنگ C1-5B نشان داده است که روش UV/O_3 قادر به حذف رنگ تا ۵۱ درصد بود اما افزایش قابل توجهی (۹٦ درصد) در حذف رنگ با افزایش زمان به ٦۰ دقیقه با تابش نور UV به‌دست آمد که بیانگر این است که با افزایش زمان درصد حذف نیز افزایش می‌یابد [۳۲]. هم‌چنین، در مطالعه Taner yonar و همکاران بر روی پساب نساجی، بهترین نتیجه درصد حذف رنگ با استفاده از فرآیند $O_3/UV/H_2O_2$ ۹۹ درصد بود و با روش UV/H_2O_2 حذف رنگ در زمان ٦۰ دقیقه ۹٦ درصد و pH بهینه برای این روش برابر ۳ بوده است و در روش UV/O_3 بعد از ٦۰ دقیقه حذف رنگ به میزان ۹۸ درصد رسیده و pH بهینه برای این روش ۹ به‌دست آمد [۳۳]. مطالعه Perkowski و Kos بر روی فاضلاب کارخانه رنگ‌سازی [۳٤] نشان داده است که در روش $O_3/UV/H_2O_2$ کاهش رنگ بین ۸۸-۹۸/۳ درصد بوده است که با نتایج ما هم‌خوانی دارد. در روش UV/H_2O_2 نیز کاهش رنگ بین ۹٦/۷-۹۹/۲ درصد و در روش پراکسون ۹۸/۳-۹۸/۸ درصد بعد از ۱ ساعت به‌دست آمده است؛ این یافته با نتایج ما هم‌خوانی ندارد. شاید این اختلاف به‌دلیل کیفیت فاضلاب و نوع ترکیبات رنگی، مدت زمان داده شده به واکنش و غلظت آب اکسیژنه مصرفی باشد. مطالعه Azbar و همکاران بر روی فاضلاب رنگی پلی‌استر و الیاف استات با کاربرد AOP_S نشان داده است که حداکثر درصد حذف رنگ ۵۰ درصد است ولی در روش $O_3/UV/H_2O_2$ بهترین نتیجه برای حذف رنگ ۹٦ درصد بود که با مطالعات ما هم‌خوانی دارد [۳۵]. نتایج تحقیقات Perkowski و Ledakowicz در تجزیه رنگ در محلول آبی در طی فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته نشان داد که بهترین راندمان بی‌رنگ کردن در سیستم $O_3/UV/H_2O_2$ به‌دست آمد و کندترین روش زمانی بود که ازن و پراکسید هیدروژن به‌کار برده شد. در روش UV/O_3 نیز زمان مورد نیاز برای به‌دست آوردن ۸۰ درصد حذف رنگ ۵۵ و ٤۲ دقیقه بود و برای روش UV/H_2O_2 در زمان‌های ۳۰ تا ٤۰ دقیقه ۵۰ درصد حذف رنگ مشاهده شد که با مطالعات ما هم‌خوانی دارد [۳٦].

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان گفت که روش ترکیبی $O_3/UV/H_2O_2$ مورد استفاده در این مطالعه از جنبه‌های مختلفی بر سایر روش‌های کابردی در حذف رنگ‌ها از پساب کارخانجات نساجی برتری دارد. pH بهینه برای این روش ٦ و بهترین زمان واکنش ۳۰ دقیقه می‌باشد. این روش با داشتن مزیت‌هایی مانند کاهش هزینه‌ها، عدم نیاز به دستگاه‌ها وسایل آزمایشگاهی گران قیمت، سادگی روش و هم‌چنین به‌کارگیری این روش در مناطق مختلف جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست می‌تواند توصیه گردد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کاشان و هم‌چنین از زحمات پرسنل آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان تشکر می‌گردد. این مقاله حاصل از بخشی از یافته‌های پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد می‌باشد.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]

References:

[1] Daneshvar N, Salari D, Khataee AR. Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: investigation of the effect of operational parameters. ***J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*** 2003; 157: 111-6.

[2] Gharbani P, Tabatabaii SM, Mehrizad A. Removal of Congo red from textile wastewater by ozonation. ***Environ Sci Tech*** 2008; 5(4): 495-500.

[3] Tantak NP, Chaudhari S. Degradation of azo dyes by sequential Fenton's oxidation and aerobic biological treatment. ***J Hazard Mater*** 2006; B136: 698-705.

[4] Selcuk H, Meric S. Ozone Pre-Oxidation of A Textile Industry Wastewater for Acute Toxicity Removal. ***Global NEST J*** 2006; 8(2): 95-102.

[5] Muhammad A, Shafeeq A, Butt MA, Rizvi ZH, Chughtai MA, Rehman S. Decolorization and Removal of COD and BOD from Raw and Biotreated Textile dye Bath Effluent Through Advanced Oxidation Processes (AOPS). ***Brazilian J Chem Eng*** 2008; 25(03): 453-9.

[6] Hassani AH, Mirzayee R, Nasseri S, Borghei M, Gholami M, Torabifar B. Nanofiltration process on dye removal from simulated textile wastewater. ***Int. J. Environ. Sci. Tech***. 2008; 5(3): 401-8.

[7] Muthukumar M, Karuppiah MT, Raju GB. Electrochemical removal of CI Acid orange 10 from aqueous solutions. ***Sep Purif Technol*** 2007; 55(2): 198–205.

[8] Daneshvar N, Khataee AR, Djafarzadeh N. The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of decolorization of textile dye solution containing C. I. Basic Yellow 28 by electrocoagulation process. ***J Hazard Mater*** 2006; B137: 1788–95.

[9] Song S, He Z, Qiu J, Xu L, Chen J. Ozone assisted electrocoagulation for decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution: An investigation of the effect of operational parameters. ***Sep Purif Technol*** 2007; 55: 238–45.

[10] Tapalad T, Neramittagapong A, Neramittagapong S, Boonmee M. Degradation of Congo Red Dye by Ozonation. ***Chiang Mai J Sci*** 2008; 35(1): 63-8.

[11] Abo-Farha SA. Comparative Study of Oxidation of Some Azo Dyes by Different Advanced Oxidation Processes: Fenton, Fenton-Like, Photo-Fenton and Photo-Fenton-Like. ***J Am Sci*** 2010; 6(10): 128-42.

[12] Rehman MSU, Ahmad N, Yasar A, Sawar M, Muhammad A. Application of H2O2, UV & UV/H2O2 systems for the post treatment of biotreated industial wastewater. ***Environ Agric Food Chem*** 2006; 5(6): 1575-82.

[13] Mohan SV, Rao NC, Prasad KK, Karthikeyan J. Treatment of simulated Reactive Yellow 22 (Azo) dye effluents using Spirogyra species. ***Waste Manag*** 2002; 22(6): 575-82.

[14] Solmaz SKA, Birgul A, Ustun GE, Yonar T. Colour and COD removal from textile effluent by coagulation and advanced oxidation processes. ***Coloration Technol*** 2006; 122: 102-9.

[15] Gao BY, Yue QY, Wang Y, Zhou WZ. Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. ***Environ Manage*** 2007; 82(2): 167–72.

[16] Caliman AF, Cojocaru C, Antoniadis A, Poulios I. Optimized photocatalytic degradation of Alcian Blue 8 GX in the presence of TiO2 suspensions. ***J Hazard Mater*** 2007; 144(1-2): 265–73.

[17] Rezaee A, Ghaneian MT, Khavanin A, Hashemian SJ, Moussavi G. Photochemical oxidation of reactive Blue 19 dye (RB19) in rextile wastewater by UV/K2S2O8 process. ***Environ Health Sci Eng*** 2008; 5(2): 95-100.

[18] Ozdemir C, den MKO, Sahinkaya S, Kalipci E. Color Removal from Synthetic Textile Wastewater by Sono-Fenton Process. ***Clean: Soil, Air, Water*** 2011; 39(1): 60-7.

[19] Mostafaii G, Dehghani R, Hasanzadeh M, Mousavi G. A comparison between advanced O3/UV and H2O2/UV oxidation processes for the treatment of municipal solid waste leachate. ***Feyz*** 2011; 16(1): 71-8 [in Persian]

[20] Peres JA, Beltrán de Heredia J, Domínguez JR. Integrated Fenton's reagent coagulation/flocculation process for the treatment of cork processing wastewaters. ***J Hazard Mater*** 2004; 107(3): 115-21.

[21] Kos L, Perkowski J. Decolouration of Real Textile Wastewater with Advanced Oxidation Processes. ***Fibres & Textiles*** 2003; 114(43): 81-5.

[22] APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater: Washington DC, USA: American Public Health Association; 2005.

[23] Georgiou D, Melidis P, Aivasidis A, Gimouhopoulos K. Degradation of azo reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide. ***Dyes Pigm*** 2002; 52: 69-78.

[24] Kalra SS, Mohan S, Sinha A, Singh G. Advanced Oxidation Processes for Treatment of Textile and Dye Wastewater: A Review. *2nd International Conference on Environmental Science and Development* 2011; 4: 271-5.

[25] Khan H, Ahmad N, Yasar A, Shahid R. Advanced Oxidative Decolorization of Red Cl-5B: Effects of Dye Concentration, Process Optimization and Reaction Kinetics. ***J Environ Stud*** 2010; 19(1): 83-92.

[26] Crittenden JC, HU S, Hand DW, SARAH. A Kinetic model for H2O2/UV process in A completely mixed batch reactor. ***Wat Res*** 1999; 33(10): 2315-28.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]

[27] Al-KDASL A, IDRIS A, SAED K, GUAN CT. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes - A Review. ***Global Nest Int J*** 2004; 6(3): 222-30.
[28] Hung-Yee S, Ching-Rong H. Degradation of commercial azo dyes in water using ozonation and UV enhanced ozonation process. ***Chemosphere*** 1995; 31: 3813-25.
[29] Huang CR, Lin YK, Shu HY. Wastewater Decolorization And TOC-Reduction By Sequential Treatment. ***Am. Dyestuff Rep*** 1994. p. 15-8.
[30] Arslan I, Isil AB, Tuhkanen IA. Advanced oxidation of synthetic dyehouse effluent by O3, H2O2/O3 and H2O2/UV processes. ***Environ Technol*** 1999; 20: 921-31.
[31] Thanh BX, Quyen VTK, Dan NP. Removal of Non-Biodegradable Organic Matters from Membrane Bioreactor Permeate By Oxidation Processes. ***J Water Sustain*** 2011; 1(3): 289-99.
[32] Khan H, Ahmad N, Yasar A, Shahid R. Advanced Oxidative Decolorization of Red Cl-5B: Effects of Dye Concentration, Process Optimization and Reaction Kinetics. ***J Environ Stud*** 2010; 19(1): 83-92.
[33] Yonar T, Yonar GK, Kestioglua K, Azbarb N. Decolorisation of textile effl uent using homogeneous photochemical oxidation processes. ***Color Technol*** 2005; 121: 258-64.
[34] Perkowski J, Kos L. Decolouration of Model Dyehouse Wastewater with Advanced Oxidation Processes. ***Fibres Text East Eur*** 2003; 11(3): 67-71.
[35] Azbar N, Yonar T, Kestioglu K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. ***Chemosphere*** 2004; 55: 35-43.
[36] Perkowski J, Ledakowicz S. Decomposition of Anthraquinone Dye in the Aqueous Solution during Advanced Oxidation Processes. ***Fibres Textiles in Eastern Europe*** 2002: 68-72.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-28]